

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-276710

(43)Date of publication of application : 06.10.2000

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 11-076887

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 19.03.1999

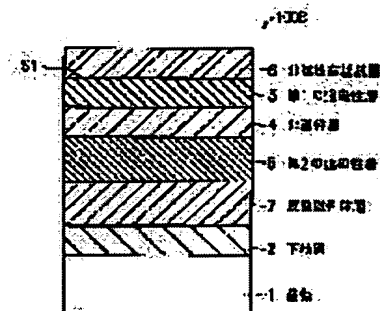
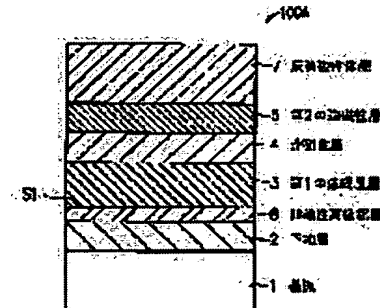
(72)Inventor : KAWAWAKE YASUHIRO
SUGITA YASUNARI
SATOMI MITSUO
SAKAKIMA HIROSHI

(54) MAGNETORESISTIVE ELEMENT, MAGNETORESISTIVE HEAD, AND HARD DISK DEVICE USING MAGNETORESISTIVE HEAD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable magnetoresistive element and head to have a large MR ratio by successively laminating a nonmagnetic high-resistance layer, a first ferromagnetic layer, a first nonmagnetic layer, a second ferromagnetic layer and an antiferromagnetic layer.

SOLUTION: The second ferromagnetic layer 5 receives alternating bias magnetic fields from the antiferromagnetic layer and the magnetization direction is fixed in one direction. On the other hand, since the first ferromagnetic layer 3 formed via the nonmagnetic layer 4 freely changes the magnetization direction according to the magnetic fields from outside, the relative angle of the first ferromagnetic layer 3 and the second ferromagnetic layer 5 changes and electric resistance (magnetic reluctance) changes. Current flows between the first ferromagnetic layer 3 and the antiferromagnetic layer 7 and if the antiferromagnetic layer 8 is formed of suitable material, the smoothness of an atom level is embodied at the boundary S1 between the antiferromagnetic layer 8 and the first ferromagnetic layer 3 and the MR ratio increases. Al₂O₃, AlN, SiO₂, etc., and used as the material of the antiferromagnetic layer 8 and the film thickness thereof is preferably specified between 0.4 and 20 nm.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-276710
(P2000-276710A)

(43) 公開日 平成12年10月6日 (2000. 10. 6)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

データコード* (参考)

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

5 D 0 3 4

審査請求 未請求 請求項の数35 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-76887

(22) 出願日 平成11年3月19日 (1999. 3. 19)

(71) 出願人 000003821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 川分 康博

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 杉田 康成

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

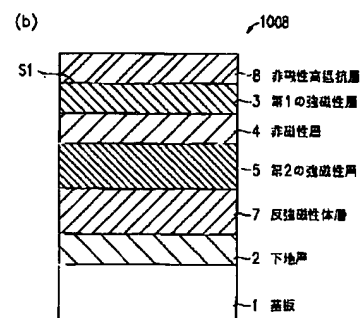
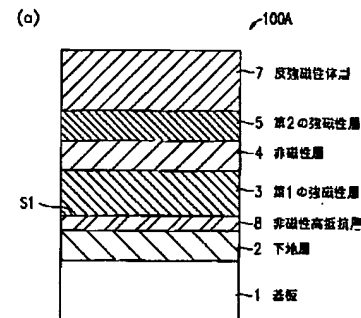
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドおよび磁気抵抗効果型ヘッドを用いたハードディスク装置

(57) 【要約】

【課題】 MR比が高い磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果型ヘッドを提供する。

【解決手段】 磁気抵抗効果素子100Aは、非磁性高抵抗層8、第1の強磁性層3、非磁性層4、第2の強磁性層5、反強磁性体層7が順次積層された構成とする。



(2) 000-276710 (P2000-276710A)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 非磁性高抵抗層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記非磁性高抵抗層は、電子のスビンの方向を維持したまま伝導電子を反射しやすい性質を有する、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記非磁性高抵抗層の膜厚は、0.4 nm以上20 nm以下である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記非磁性高抵抗層の膜厚は、0.4 nm以上2 nm以下である、請求項3に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記非磁性高抵抗層は、Alの酸化物を含む、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 前記非磁性高抵抗層は、前記第1の強磁性層に接する反射表面を有し、前記反射表面の少なくとも一部分は、オングストローム単位のレベルで見ても平滑である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 前記反射表面の少なくとも10%以上が、0.5 nm以下の凹凸の平滑な表面である、請求項6に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 前記反強磁性体層は、酸化物を含む、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 前記酸化物は、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を含む、請求項8に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 前記酸化物は、NiOを含む、請求項8に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 前記非磁性層は、Cuを含み、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との少なくとも一方は、Fe、Ni、Coおよびこれらの合金のうちの少なくとも1つを含む、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 前記第2の強磁性層は、第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層を介して積層される第3の強磁性層と第4の強磁性層とをさらに含む、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項13】 前記第3の強磁性層と前記第4の強磁性層との少なくとも一方は、CoとCo-Fe合金との少なくとも一方を含み、前記第2の非磁性層は、RuとIrとの少なくとも一方を含む、請求項12に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項14】 高抵抗層、金属反射膜層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子。

【請求項15】 前記高抵抗層は、電子のスビンの方向を維持したまま伝導電子を反射しやすい性質を有する、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項16】 前記金属反射膜層は、AuとAgとの

少なくとも一方を主成分として含む、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項17】 前記高抵抗層の膜厚は、0.4 nm以上20 nm以下である、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項18】 前記高抵抗層の膜厚は、0.4 nm以上2 nm以下である、請求項17に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項19】 前記高抵抗層は、Alの酸化物を含む、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項20】 前記高抵抗層は、前記金属反射膜層に接する反射表面を有し、

前記反射表面の少なくとも一部分は、オングストローム単位のレベルで見ても平滑である、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項21】 前記反射表面の少なくとも10%以上が、0.5 nm以下の凹凸の平滑な表面である、請求項20に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項22】 前記高抵抗層は、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を含む、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項23】 前記反強磁性体層は、酸化物を含む、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項24】 前記酸化物は、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を含む、請求項23に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項25】 前記酸化物は、NiOを含む、請求項23に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項26】 前記第1の非磁性層は、Cuを含み、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との少なくとも一方は、Fe、Ni、Coおよびこれらの合金のうちの少なくとも1つを含む、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項27】 前記第2の強磁性層は、第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層を介して積層される第3の強磁性層と第4の強磁性層とをさらに含む、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項28】 前記第3の強磁性層と前記第4の強磁性層との少なくとも一方は、CoとCo-Fe合金との少なくとも一方を含み、

前記第2の非磁性層は、RuとIrとの少なくとも一方を含む、請求項27に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項29】 前記金属反射膜層と前記第1の強磁性層との間に、更に、第2の非磁性層が積層される、請求項14に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項30】 非磁性高抵抗層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性層を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備える磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項31】 前記第2の強磁性層は、第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層を介して積層される第3の強

(3) 000-276710 (P2000-276710A)

磁性層と第4の強磁性層とをさらに含む、請求項30に記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項32】 高抵抗層、金属反射膜層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性体を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備える磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項33】 前記金属反射膜層と前記第1の強磁性層との間に、更に、第2の非磁性層が積層される、請求項32に記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項34】 磁気抵抗効果型ヘッドによりディスクに情報を記録再生するハードディスク装置であって、前記ハードディスク装置は、前記磁気抵抗効果型ヘッドと前記磁気抵抗効果型ヘッドを保持するスライダとを備える磁気抵抗効果型ヘッド支持機構と、前記磁気抵抗効果型ヘッド支持機構を介して前記磁気抵抗効果型ヘッドをトラッキングする駆動手段とを備え、前記磁気抵抗効果型ヘッドは、非磁性高抵抗層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性体を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備えるハードディスク装置。

【請求項35】 磁気抵抗効果型ヘッドによりディスクに情報を記録再生するハードディスク装置であって、前記ハードディスク装置は、前記磁気抵抗効果型ヘッドと前記磁気抵抗効果型ヘッドを保持するスライダとを備える磁気抵抗効果型ヘッド支持機構と、前記磁気抵抗効果型ヘッド支持機構を介して前記磁気抵抗効果型ヘッドをトラッキングする駆動手段とを備え、前記磁気抵抗効果型ヘッドは、高抵抗層、金属反射膜層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性体を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備えるハードディスク装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は低磁界で大きな磁気抵抗変化をおこす磁気抵抗効果素子、それを用いて構成される、高密度磁気記録再生に適した磁気抵抗効果型ヘッドおよび磁気抵抗効果型ヘッドを用いたハードディスク装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より磁気抵抗効果素子（以下MR素子とも記す）を用いた磁気抵抗センサー（以下MRセンサーという）、磁気抵抗ヘッド（以下MRヘッドという）の開発、実用化が進められており、磁性体には主に $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ のパーマロイや $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$ 合金膜が用いられている。これら磁気抵抗効果材料の場合は磁気抵抗変化率（以下MR比と記す）が2%程度であり、より高感度な磁気抵抗素子を得るためにはよりMR比の大

きなものが求められている。近年Cr、Ru等の金属非磁性薄膜を介して反強磁性的結合をしている $[\text{Fe}/\text{Cr}]$ 、 $[\text{Co}/\text{Ru}]$ 人工格子膜が強磁場（1~10kOe）で約100%の大きな抵抗変化（巨大磁気抵抗効果）を示すことが発見された（フィジカル レヴュー レター 61第2472頁（1988年）；同64第2304頁（1990）（Physical Review Letter Vol. 61, p2472, 1988；同Vol. 64, p2304, 1990））。

【0003】しかしながらこれらの人工格子膜は大きなMR変化を得るのに数kOe~数10kOeの磁界を必要とし、磁気ヘッド等の用途には実用的でない。

【0004】微小印加磁界で動作するものとしては、反強磁性材料のFe-MnをNi-Fe/Cu/Ni-Feにつけたスピバルブ型のものが提案されている（ジャーナル オブ マグネティズム アンド マグネティック マテリアルズ 93第101頁（1991年）（Journal of Magnetism and Magnetic Materials 93, p101, 1991））。

【0005】図11に、従来のスピバルブ膜310の構成を示す。従来のスピバルブ膜310は、基板1上に、直接または下地膜2を介して、第1の強磁性層3、非磁性膜4、第2の強磁性膜5、金属反強磁性体7を順次積層した構成となっている。このタイプのスピバルブ膜においては、反強磁性材料7に接した強磁性膜（ピン層）5は、交換結合により一方向異方性を与えられ、磁化方向が一方向に固定される。これに対して、ピン層5と非磁性層4を介して設けられた強磁性層3（フリー層）においては、外部からの信号磁界に対して比較的自由に磁化方向を回転できるので、ピン層5とフリー層3の相対的磁化方向が変化し、電気抵抗が変化する。このタイプのMR材料は、動作磁界は確かに小さく、直線性も良いもののMR比は約2%と小さい点や、Fe-Mn膜の耐蝕性の問題点、Fe-Mn薄膜のネール温度が低いために素子の特性の温度依存性が大きい等の欠点があった。

【0006】このような、Fe-Mn膜の欠点を改良するものとして、Pt-Mn、Ir-Mn等種類の金属反強磁性体が提案されている。これらは、Fe-Mnに比べて温度特性に優れており、磁気ヘッド製造プロセスにおける熱付加にも比較的強く、またヘッドとしての動作時の温度上昇にも比較的特性が劣化せずに用いることができる。ただこのように金属反強磁性体を用いたスピバルブ膜は、MR比が低くせいぜい10%程度であり、将来の高密度磁気記録ヘッドには対応できないと考えられる。

【0007】また、スピバルブ膜のMR比を大きくする手段の一つとして、比抵抗の低い金属を更にスピバルブ膜の背部に設けた低抵抗背部層により、Cu/Ni

(4) 000-276710 (P2000-276710A)

-Fe/Cu/Ni-Fe/Fe-Mnの構成としたものも提案されている(USP5422571)。これは、特定のスピンの電子の平均自由行程を長くすることによりMR比を大きくしてやろうとする試みである。

【0008】従来のスピバルブ型のMR素子は、磁界感度はすぐれているが、MR比が低いという問題点があった。低抵抗背部層による、MR比の向上効果も十分でなかった。この原因は、スピバルブ型のMR素子は膜厚が薄いため、素子表面で電子が拡散散乱されやすいためと考えられる。

【0009】このことをもう少し詳細に説明すると以下のようになる。

【0010】もともと、巨大磁気抵抗効果は、磁性層/非磁性層の界面での電子のスピンに依存した散乱が原因である。そこで、この散乱の起こる確率を上げるためには、スピン方向に依存しない散乱の確率を下げ、電子の平均自由行程を長くすることが重要である。スピバルブ膜においては、磁性層/非磁性層の積層回数が少ない。従って、スピバルブ膜の膜厚は、例えば20-50nm程度と、一般に反強磁性結合型の巨大磁気抵抗効果膜に比べて薄い。このため、膜表面で電子が散乱される確率が高く、電子の平均自由行程が短かった。これがスピバルブ膜のMR比が低い主な原因である。

【0011】通常、薄膜の表面には、伝導電子の波長(フェルミ波長)のレベルである、数オングストロームのレベルで見ると、凹凸がある。この場合、伝導電子は表面で非弾性的な散乱(拡散散乱)を受ける。一般に、拡散散乱の場合には、電子のスピン方向は維持されない。

【0012】このような膜表面での電子の拡散散乱によるMR比の低下を改善するために、超平滑な膜表面を有する鏡面反射型のスピバルブ膜が提案されている。

【0013】出願人が提案している鏡面反射型のスピバルブ膜としては、超平滑になりやすい金属膜を表面に形成した金属反射膜型(たとえば、特願平9-326822号、特開平11-8424号公報)と、酸化物反強磁性体を用いた型(たとえば、特願平10-276181号)がある。

【0014】金属反射膜を用いたスピバルブ膜の構成は、図12に示すように通常のスピバルブ膜320の構成、即ち、反強磁性体層7、ピン層5、非磁性層4、フリー層3に加えて、更に、金属反射膜層9を形成する。電流即ち、伝導電子は金属反射膜層9から反強磁性体層7(反強磁性体層が酸化物の場合にはピン層5)の間を流れるが、金属反射膜層9の表面が非常に平滑であれば、伝導電子は金属反射膜の表面で鏡面反射され、金属反射層を設けない場合に比べてMR比が増大する。

【0015】また、酸化物反強磁性体を用いた場合の代表的な構成は図13に示すように、スピバルブ膜330の構成、即ち、基板1上に下地層2を介して、酸化物

反強磁性体層7、ピン層5、非磁性層4、フリー層3を順次積層した構成である。酸化物反強磁性体層7は通常抵抗が高く、電流は流れない。つまり、反強磁性体がFe-Mnの様に金属で構成されている場合には、電流はフリー層3から反強磁性体層7の間を流れるが、反強磁性体層が酸化物の場合には電流はフリー層3から第2の強磁性層5の間を流れる。この場合、酸化物反強磁性体層7とピン層5の界面が非常に平滑であれば、ここで、伝導電子が鏡面反射されて、金属反強磁性体を用いた場合に比べてMR比が増大する。

【0016】このタイプのスピバルブ膜に用いられる酸化物反強磁性体としては、NiO(フィジカル レビュー B第53巻第9108頁(1996年)(Physical Review B Vol. 53, p9108, 1996-II)、 α -Fe₂O₃等(Japanese Journal of applied Physics Vol. 37, p5984, 1998)を用いることが提案されている。この場合には10%以上の大きなMR比が報告されている。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】従来の金属反強磁性体を用いたスピバルブ型のMR素子は、MR比が十分高くなかった。また、これを改善するための鏡面反射効果を利用したスピバルブ膜においても従来はMR比の増加は不十分であった。金属反射膜を用いた場合には、表面が酸化等の原因で変化することによってMR比が低下したり、また、これを防ぐための保護層によってはMR比の増加が不十分であったり、MR比が逆に低下したりした。

【0018】また、酸化物反強磁性体を用いた場合には、大きなMR比は得られたが、例えば図13においては伝導層の酸化物反強磁性体と反対側の表面はフリー層3で、電子の反射効果が不十分であり、MR比の増加が十分でなかった。

【0019】本願発明に係る課題を解決するためになされたものである。本発明の目的は、大きなMR比を示す磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドおよび磁気抵抗効果型ヘッドを用いたハードディスク装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気抵抗効果素子は、非磁性高抵抗層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有し、このことにより上記目的が達成される。

【0021】前記非磁性高抵抗層は、電子のスピンを方向を維持したまま伝導電子を反射しやすい性質を有してもよい。

【0022】前記非磁性高抵抗層の膜厚は、0.4nm以上20nm以下であってもよい。

【0023】前記非磁性高抵抗層の膜厚は、0.4nm

(5) 000-276710 (P2000-276710A)

以上2 nm以下であってもよい。

【0024】前記非磁性高抵抗層は、Alの酸化物を含んでもよい。

【0025】前記非磁性高抵抗層は、前記金属反射膜層に接する反射表面を有し、前記反射表面の少なくとも一部分は、オングストローム単位のレベルで見ても平滑であってもよい。

【0026】前記反射表面の少なくとも10%以上が、0.5 nm以下の凹凸の平滑な表面であってもよい。

【0027】前記反強磁性体層は、酸化物を含んでもよい。

【0028】前記酸化物は、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を含んでもよい。

【0029】前記酸化物は、NiOを含んでもよい。

【0030】前記非磁性層は、Cuを含み、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との少なくとも一方は、Fe、Ni、Coおよびこれらの合金のうちの少なくとも1つを含んでもよい。

【0031】前記第2の強磁性層は、第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層を介して積層される第3の強磁性層と第4の強磁性層とをさらに含んでもよい。

【0032】前記第3の強磁性層と前記第4の強磁性層との少なくとも一方は、CoとCo-Fe合金との少なくとも一方を含み、前記第2の非磁性層は、RuとIrとの少なくとも一方を含んでもよい。

【0033】本発明の他の磁気抵抗効果素子は、高抵抗層、金属反射膜層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有し、このことにより上記目的が達成される。

【0034】前記高抵抗層は、電子のスピンを維持したまま伝導電子を反射しやすい性質を有してもよい。

【0035】前記金属反射膜層は、AuとAgとの少なくとも一方を主成分として含んでもよい。

【0036】前記高抵抗層の膜厚は、0.4 nm以上20 nm以下であってもよい。

【0037】前記高抵抗層の膜厚は、0.4 nm以上2 nm以下であってもよい。

【0038】前記高抵抗層は、Alの酸化物を含んでもよい。

【0039】前記高抵抗層は、前記第1の強磁性層に接する反射表面を有し、前記反射表面の少なくとも一部分は、オングストローム単位のレベルで見ても平滑であってもよい。

【0040】前記反射表面の少なくとも10%以上が、0.5 nm以下の凹凸の平滑な表面であってもよい。

【0041】前記高抵抗層は、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を含んでもよい。

【0042】前記反強磁性体層は、酸化物を含んでもよい。

【0043】前記酸化物は、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を含んでもよい。

【0044】前記酸化物は、NiOを含んでもよい。

【0045】前記第1の非磁性層は、Cuを含み、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との少なくとも一方は、Fe、Ni、Coおよびこれらの合金のうちの少なくとも1つを含んでもよい。

【0046】前記第2の強磁性層は、第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層を介して積層される第3の強磁性層と第4の強磁性層とをさらに含んでもよい。

【0047】前記第3の強磁性層と前記第4の強磁性層との少なくとも一方は、CoとCo-Fe合金との少なくとも一方を含み、前記第2の非磁性層は、RuとIrとの少なくとも一方を含んでもよい。

【0048】前記金属反射膜層と前記第1の強磁性層との間に、更に、第2の非磁性層が積層されてもよい。

【0049】本発明の磁気抵抗効果型ヘッドは、非磁性高抵抗層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性体を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備え、このことにより上記目的が達成される。

【0050】前記第2の強磁性層は、第2の非磁性層と、前記第2の非磁性層を介して積層される第3の強磁性層と第4の強磁性層とをさらに含んでもよい。

【0051】本発明の他の磁気抵抗効果型ヘッドは、高抵抗層、金属反射膜層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性体を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備え、このことにより上記目的が達成される。

【0052】前記金属反射膜層と前記第1の強磁性層との間に、更に、第2の非磁性層が積層されてもよい。

【0053】本発明のハードディスク装置は、磁気抵抗効果型ヘッドによりディスクに情報を記録再生するハードディスク装置であって、前記ハードディスク装置は、前記磁気抵抗効果型ヘッドと前記磁気抵抗効果型ヘッドを保持するスライダとを備える磁気抵抗効果型ヘッド支持機構と、前記磁気抵抗効果型ヘッド支持機構を介して前記磁気抵抗効果型ヘッドをトラッキングする駆動手段とを備え、前記磁気抵抗効果型ヘッドは、非磁性高抵抗層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性体を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備え、このことにより上記目的が達成される。

【0054】本発明の他のハードディスク装置は、磁気抵抗効果型ヘッドによりディスクに情報を記録再生するハードディスク装置であって、前記ハードディスク装置は、前記磁気抵抗効果型ヘッドと前記磁気抵抗効果型

(6) 000-276710 (P2000-276710A)

ヘッドを保持するスライダとを備える磁気抵抗効果型ヘッド支持機構と、前記磁気抵抗効果型ヘッド支持機構を介して前記磁気抵抗効果型ヘッドをトラッキングする駆動手段とを備え、前記磁気抵抗効果型ヘッドは、高抵抗層、金属反射膜層、第1の強磁性層、第1の非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性体層が順次積層された構成を有する磁気抵抗効果素子と、前記第1の強磁性体を磁区制御するバイアス印加部と、記録部とを備え、このことにより上記目的が達成される。

【0055】

【発明の実施の形態】以下本発明の磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドおよび磁気抵抗効果型ヘッドを用いたハードディスク装置を図面に基いて説明する。

【0056】図1に本発明の磁気抵抗効果素子の構成の一例を示す。図1(a)に示すMR素子100Aは、基板1上に直接あるいは下地層2を介して非磁性高抵抗層8、第1の強磁性層3、非磁性層4、第2の強磁性層5、反強磁性体層7を順次積層した構成となっている。本発明の磁気抵抗効果素子の動作は基本的に図11で示されたスピンバルブ膜310と同じである。ただし、第1の強磁性体層3の下に更に非磁性高抵抗層8を形成しているので、MR比が従来より増大する。

【0057】図1(a)に示した多層膜がスピンバルブ型磁気抵抗効果素子として働く動作は以下のように説明される。第2の強磁性層5は反強磁性体層7から交換バイアス磁界を受け、磁化方向は一方に固定される。一方、非磁性層4を介して形成された第1の強磁性層3は、外部からの磁界に応じて比較的自由に磁化方向を変えるので、第1の強磁性層(フリー層)3と第2の強磁性層(ピン層)5の磁化方向の相対的角度が変化し、電気抵抗(磁気抵抗)が変化する。MRセンサーとしては、外部からの磁界により生じた抵抗変化を電気信号として読みとることができる。

【0058】また図1(a)においては非磁性高抵抗層8から順に積層した場合について図示しているが、逆に図1(b)に示すように反強磁性体層7から積層しても本発明は有効である。

【0059】図1に示すような本発明の磁気抵抗効果素子100A、100Bが、従来の磁気抵抗効果素子に比べて大きなMR比を示す理由は以下のように考えられる。即ち、図11に示すMR素子310においては、伝導電子(電流)は金属反強磁性体層7と下地層2(通常下地層はTa等の金属が用いられている)の間を流れる。通常の材料を用いるときには基板1と下地層2の界面あるいは金属反強磁性体層7の表面は原子レベルの平滑性はないので、電子はここで、拡散散乱されて、電子のスピン情報は失われ、MR比は低くなる。

【0060】これに対して、本発明の図1(a)の場合には、電流、即ち伝導電子は、第1の強磁性層3と反強磁性体層7(または第2の強磁性体層5)の間を流れる。

このとき適当な材料で適当な方法で非磁性高抵抗層8を形成すれば、非磁性高抵抗層8と第1の強磁性層3の界面S1に原子レベルの平滑性が実現され、MR比が増加する。

【0061】図1(a)の高抵抗層8としては、非磁性高抵抗層がよい。高抵抗層8に強磁性や反強磁性体を用いると第1の強磁性層3と磁気的に結合して、第1の強磁性層3の磁化回転をしにくくするなどして望ましくない。非磁性高抵抗層8の材料としては、 Al_2O_3 、 AlN 、 SiO_2 などの種々の非磁性高抵抗体が適している。特に Al_2O_3 がよい。このとき、膜厚が薄すぎると絶縁効果が低すぎるので、少なくとも0.4nm以上、望ましくは0.8nm以上の膜厚は必要である。ただし厚すぎると、表面粗さが増大し、電子の鏡面反射効果が低下するので、20nm以下、より望ましくは2nm以下がよい。

【0062】高抵抗層を用いて大きなMR比を得るためには、たとえば図1(a)において、非磁性高抵抗層8と強磁性層3との間の界面S1で鏡面反射の確率を高く保つ必要がある。界面S1で鏡面反射が起こる条件としては、伝導電子の波長(数オングストローム)から見て非磁性高抵抗層8と第1の強磁性層3との界面S1が平滑になっている必要がある。

【0063】非磁性高抵抗層8と第1の強磁性層3との界面S1の平滑性を評価する場合、直接界面S1あるいは非磁性高抵抗層8の平面の平滑性が評価できれば望ましいが、それが困難な場合には、多層膜表面の平滑性で評価しても良い。

【0064】多層膜表面の平滑性としては、全表面にわたって完全に平滑であれば申し分ないが、例えば数百オングストロームの大きな凹凸があったとしても、表面の一部分がオングストローム単位の平滑な部分が形成されていればよい。具体的には、0.5nm以下の凹凸の平滑な表面が10nm×10nm以上の領域で形成されている部分が、概略全表面の10%以上、望ましくは20%以上必要である。

【0065】次に、反強磁性体層7の材料は、金属膜を用いる場合にはFe-Mn、Ni-Mn、Pd-Mn、Pt-Mn、Ir-Mn、Cr-Al、Cr-Mn-Pt、Fe-Mn-Rh、Pd-Pt-Mn、Ru-Rh-Mn、Mn-Ru、Cr-Al等の膜が優れている。この中でも、耐食性や熱安定性の観点から、Ni-Mn、Ir-Mn、Pt-Mnが優れている。特にPt-Mnが優れている。Pt_zMn_{1-z}膜の適当な組成としては、原子組成比で、 $0.45 \leq z \leq 0.55$ がよい。金属反強磁性体7の膜厚としては、固定層の磁化固着効果(バイアス効果)を大きくするためには少なくとも5nm以上の膜厚は必要である。より望ましくは10nm以上必要である。ただしあまり厚くなると将来の短波長化に対応できなくなるので、30nm以下、より望ましくは

(7) 000-276710 (P2000-276710A)

20 nm以下とするのが望ましい。金属反強磁性体7は次に述べる酸化物反強磁性体7に比べると、MR比は低い。熱安定性には優れている。

【0066】また、金属反強磁性体7として、酸化物反強磁性体を用いると、酸化物反強磁性体7と第2の強磁性層5との間でも電子が鏡面反射されてMR比が更に増大する。これは、前述の従来例、図13の場合と同様である。

【0067】本発明の図1(b)の場合が従来例の図13と異なるのは、単に酸化物反強磁性体7と第2の強磁性層5の間で鏡面反射を起こすだけでなく、非磁性高抵抗層8と第1の強磁性層3との間でも鏡面反射効果を生じせしめ、電子は、第1の強磁性層3と第2の強磁性層5との間で両面で鏡面反射されるので、図1(b)の場合、図13の場合に比べてもよりMR比が増大する。酸化物反強磁性体膜の材料としてはNiO、CoO、 α -Fe₂O₃膜等が優れており、中でも α -Fe₂O₃、NiO膜は優れた特性を示す。酸化物反強磁性体の膜厚としては、薄いとバイアス効果が低下するので5 nm以上は必要である。また厚すぎると全体の膜厚が厚くなる問題があるので、50 nm以下望ましくは30 nm以下とするべきである。

【0068】第2の強磁性層5としては、CoまたはCo_{1-x}Fe_x合金(0<x≤0.5、xは原子組成比)またはCo-Ni-Fe合金を用いることにより、大きなMR比が得られる。Co_{1-x}Fe_x合金は、特に非磁性膜としてCuを用いた場合、スピンの依存した散乱が大きく、結果としてMR比が大きくなる。第2の強磁性層5の膜厚としては薄すぎるとMR比が低下し、厚すぎると交換バイアス磁界が低下するので、1 nm以上3 nm以下、より望ましくは1.5 nm以上2.5 nm以下とするのが望ましい。

【0069】第1の強磁性層3としては、軟磁気特性が重要であり、Ni-FeまたはNi-Co-FeまたはCo-Fe合金が適している。Ni-Co-Fe膜の原子組成比としては、Ni_xCo_yFe_z

$$0.6 \leq x \leq 0.9$$

$$0 \leq y \leq 0.4$$

$$0 \leq z \leq 0.3$$

のNi-richの軟磁性膜、もしくは、Ni_xCo_yFe_z

$$0 \leq x \leq 0.4$$

$$0.2 \leq y \leq 0.95$$

$$0 \leq z \leq 0.5$$

のCo-rich膜を用いるのが望ましい。これらの組成の膜はセンサーやMRヘッド用として要求される低磁歪特性(1×10⁻⁵)を有する。また第1の強磁性層3として他の材料としては、Co-Mn-B、Co-Fe-B、Co-Nb-Zr、Co-Nb-B等のアモルファス膜も良い。

【0070】第1の強磁性層3の膜厚としては1 nm以上10 nm以下がよい。膜厚が厚いとシャント効果でMR比が低下するが、薄すぎると軟磁気特性が劣化する。より望ましくは1.5 nm以上5 nm以下とするのがよい。

【0071】また、MR比を更に大きくするために、第1および第2の強磁性層3、5と非磁性層4との界面に界面磁性層としてCoまたはCo-Fe合金を挿入するのも有効である。界面磁性層の膜厚が厚いと、MR比の磁界感度が低下するので、界面磁性層の膜厚は2 nm以下、望ましくは1 nm以下とする必要がある。またこの界面磁性層が有効に働くためには、少なくとも0.4 nm以上の膜厚は必要である。

【0072】非磁性層4としては、Cu、Ag、Au、Ruなどがあるが、特にCuが優れている。非磁性層4の膜厚としては、磁性層間の相互作用を弱くするために少なくとも0.8 nm以上、望ましくは1.8 nm以上は必要である。また非磁性層4が厚くなるとMR比が低下してしまうので膜厚は3 nm以下、望ましくは2.5 nm以下とするべきである。

【0073】下地層2は、磁気抵抗効果素子全体の配向性や結晶性、軟磁気特性等に影響を与えるので慎重な選択が必要である。通常Taがよく用いられるが、Taの上に更にCuやAg、Auあるいはこれらの合金等を用いれば第1の強磁性層3の軟磁気特性改善にも役立つ。

【0074】基板1としては、Si、ガラス、サファイア、MgOや、通常、磁気抵抗ヘッド用として用いられるAl₂O₃-TiC基板に対しても本発明は有効である。

【0075】またピン層に与えるバイアス磁界をさらに大きくするために、言い換えるとピン層の磁化方向をより安定にするために第2の強磁性層5を強磁性層/非磁性層/強磁性層の三層からなる間接交換結合膜を用いるのも有効である。この間接交換結合膜は、強磁性層と非磁性層の材料に適当な材料と膜厚を選んでやれば、2つの強磁性層間に大きな反強磁性的な結合が生じ、より強固なピン層の磁化の安定化を図ることができる。この間接交換結合膜は、一対の強磁性層の中間に適当な非磁性層を挿入したものである。

【0076】強磁性層として適当な材料はCo、Co-Fe、Co-Fe-Ni合金等であり、特にCo、Co-Fe合金が優れている。また中間の非磁性層としてはRu、Ir等が適当であり、Ruが特によい。また強磁性膜の膜厚としては少なくとも1 nm以上は必要で、4 nm以下とするのがよい。この時、強磁性膜の膜厚は同じであるよりも、少なくとも0.5 nm以上異なっている方がよい。また非磁性層の膜厚としては0.3 nm以上1.2 nm以下、より望ましくは0.4 nm以上0.9 nm以下が適当である。

【0077】以上は図1の例について述べたが、本発明

(8) 000-276710 (P2000-276710A)

の別の構成例は図2である。図2では高抵抗層8aの効果を高めるために、高抵抗層8aと第1の強磁性層3の間に更に電子の鏡面反射効果を高める金属反射膜層9を設ける。

【0078】図2の場合の高抵抗層8aは、図1の場合の高抵抗層8と同様の非磁性高抵抗体でも良いし、磁性体を用いても良い。磁性体の中でも反強磁性体は余分な漏れ磁束がなくて良い。高抵抗反強磁性体としては、 α - Fe_2O_3 、NiO膜のような酸化物反強磁性体がよい。その中でも、 α - Fe_2O_3 膜が優れている。このような膜は表面が平滑になって、電子の鏡面反射効果を起こしやすい。

【0079】金属反射膜層9としては、表面が超平滑になりやすいものを導入すれば、電子が反射される界面S2での電子の鏡面反射の確率が上昇し、MR比が増加する。金属反射膜層9の材料としては、Au、Agなどが適当である。膜厚としては少なくとも0.4nm以上は必要であり、あまり厚くなるとシャント効果で抵抗およびMR比が下がるので、3nm以下、望ましくは2nm以下とするべきである。

【0080】また金属反射膜層9の効果をより大きく引き出すために、金属反射膜層9と第1の強磁性層3の間にCu層を導入するのも有効である。

【0081】なお以上述べた各層の構成方法としては、スパッタリング法または蒸着法等の方法で作製できる。スパッタリング法としてはDCスパッタリング法、RFスパッタリング法、イオンビームスパッタリング法などがあるが、いずれの方法でも本発明の磁気抵抗効果素子200A、200Bを作製できる。

【0082】また高抵抗層8aの作成方法としては、酸化物、窒化物の場合、反応性スパッタ法も有効である。これは、例えば、 Al_2O_3 膜を作製する場合、AlのターゲットをArガスと酸素ガスの混合ガスを用いてスパッタリングする方法である。この方法では、通常 Al_2O_3 ターゲットをスパッタリングする方法より良質な Al_2O_3 膜が作製できることが知られている。また、酸化物の場合には金属膜を作製した後、プラズマ酸化法により、酸化して酸化膜を作成する方法も、良質な酸化膜が得られる方法として知られている。

【0083】以上述べたような本発明の磁気抵抗効果素子100A、100B、200Aまたは200Bを用いて、磁気抵抗効果型ヘッドを構成することができる。図4にMRヘッドの構成の一例を示す。図4を矢印Aの方向から見た図が、図3であり、点線Bで示した平面で切った断面が図5に示してある。以下、図3を中心にして説明する。

【0084】図3ではMR素子部109は上部および下部のシールドキャップ14、11に挟まれるように構成されている。シールドキャップ材としては、 Al_2O_3 、AlN、 SiO_2 等の絶縁膜が使われる。シールドキャ

ップ11、14の更に外側は上部および下部のシールド10、15があるがこれはNi-Fe、Fe-Al-Si、Co-Nb-Zr合金などの軟磁性膜が使われる。MR素子の第1の強磁性層(フリー層)3の磁区制御のためにCo-Pt合金等のハードバイアス部12によるバイアス磁界を加える。

【0085】ここでは、バイアスの印加方法としてはハード膜を用いる場合について説明したが、Fe-Mn等の反強磁性体を用いた場合も同様である。MR素子部109はシールドキャップ11、14によってシールド10、15等と絶縁されており、リード部13を介して電流を流すことにより、MR素子部109の抵抗変化を読みとる。

【0086】またMRヘッドは読みとり専用ヘッドなので、通常書き込み用の誘導型ヘッドと組み合わせて用いられる。図6には再生ヘッド部32だけでなく、書き込みヘッド部31も併せて描かれている。図3にさらに書き込みヘッド部を形成した場合の図が、図6である。書き込みヘッド部としては、上部シールド15上に記録ギャップ部40を介して形成された上部記録コア16がある。

【0087】なお、図3、6は従来のアパティッド接合(abutted junction)によるMRヘッド構造について説明したが、高密度化による狭トラック化に伴い、よりトラック幅41の規制が精密にできる、図7に示したオーバーレイ(overlaid)構造を用いたものも有効である。

【0088】次に、MRヘッドの記録再生のメカニズムを図5を用いて説明する。図5に示すように、記録する際には、コイル17に流した電流により発生した磁束が、上部コア16と上部シールド15の間より漏れ、磁気ディスク21に記録することができる。ヘッド30は、ディスク21に対して相対的に矢印cの方向に進むので、コイル17に流す電流を反転させることにより、記録磁化の方向23を反転させることができる。また、高密度化に伴い、記録長22が短くなるので、それにともない記録キャップ長19を小さくする必要がある。

【0089】再生する場合には、磁気ディスク21の記録磁化部から漏れた磁束24が、シールド10、15に挟まれたMR素子部109に作用して、MR素子の抵抗を変化させる。MR素子部109には、リード部13を介して電流が流されているので、抵抗の変化を電圧の変化(出力)として読みとることができる。

【0090】将来のハードディスクドライブの高密度化を考慮すると、記録波長を短くする必要性があり、そのためには図3に示したシールド間の距離d(図5の距離18)を短くする必要がある。そのためには図5から明らかな様に、MR素子部109を薄くする必要がある、MR素子部109の膜厚はなるべく薄いのが望ましく、50nm以下、望ましくは30nm以下とするべきであ

(9) 000-276710 (P2000-276710A)

る。

【0091】またMR素子部109においては、軟磁性膜の磁化反転時にバルクハウゼンノイズの発生を押さえるために、図1の第1の強磁性膜（フリー層）3の磁化容易軸は、膜面内で検知すべき信号磁界方向に概略垂直となるように構成されているのがよい。この時直線的な出力変化を起こさせるためには第2の強磁性層の磁化方向は膜面内でフリー層と垂直方向に固定しておく必要がある。

【0092】また、以上はシールド型のMRヘッドについて説明したが、将来より高密度になるとシールドギャップ18のうちに絶縁膜14、11とMR素子部109を納めるのが困難であるので、縦型MRヘッドなどのヨーク型のMRヘッドも検討されている。この場合にも、本発明は有効である。

【0093】図9は、本実施の形態に係るMRヘッドを用いたハードディスク装置110の側面図であり、図10は、その平面図である。

【0094】ハードディスク装置110は、本実施の形態で説明したMRヘッドを保持するスライダ120と、スライダを支持するヘッド支持機構130と、ヘッド支持機構130を介してMRヘッドをトラッキングするアクチュエータ114とディスク116を回転駆動するディスク駆動モータ112とを備える。ヘッド支持機構130は、アーム122とサスペンション124とを含む。

【0095】ディスク駆動モータ112は、ディスク116を所定の速度で回転駆動する。アクチュエータ114は、MRヘッドがディスク116の所定のデータトラックにアクセスできるように、MRヘッドを保持するスライダ120をディスク116の表面を横切って半径方向に移動させる。アクチュエータ114は、代表的には直線式または回転式のボイスコイルモータである。

【0096】MRヘッドを保持するスライダ120は、例えば空気ベアリングスライダである。この場合には、スライダ120は、ハードディスク装置110の起動・停止動作時にはディスク116の表面と接触する。ハードディスク装置110の情報記録再生動作時には、スラ

イダ120は回転するディスク116とスライダ120との間で形成される空気ベアリングによりディスク116の表面上に維持される。スライダ120に保持されたMRヘッドは、ディスク116に情報を記録再生する。

【0097】

【実施例】本発明の磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果型ヘッドについて以下具体的な実施例を用いて説明する。

【0098】（実施例1）多室多元のスパッタ装置を用いて、ターゲットとして、Ta、NiO、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 、 $\text{Pt}_{0.45}\text{Mn}_{0.55}$ 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、Co、Cu、 Al_2O_3 を備えたスパッタ装置を用い、真空チャンバー内を 1×10^{-8} Torr以下まで排気した後、Arガスを約0.8 mTorrになるように流しながら、ガラス基板の上に、スパッタリング法を用いて、図1(a)の構成のMR素子100Aを作製した。カソードとしては、 Al_2O_3 、NiO、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 膜の場合にはrfカソードを用い、その他の場合にはDCカソードを用いた。以下、()の中は膜厚をnm単位で示す。また合金組成はターゲットの組成で示す。

【0099】 $\text{Al}:\text{Ta}(5)/\text{Al}_2\text{O}_3(t)/\text{Ni}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}(5)/\text{Co}(1)/\text{Cu}(2.2)/\text{Co}(2)/\text{Pt}_{0.45}\text{Mn}_{0.55}(20)/\text{Ta}(5)$ 成膜したMR素子を真空中200 kA/mの磁界中で280°C、2時間熱処理した。

【0100】このようにして作製したMR素子の特性を室温、直流4端子法にて最大400 kA/m(5000 Oe)の磁界を印加して評価した。その結果を表1に示す。表1でHpというのは、図8に示すように、一度負の方向に強磁界をかけてフリー層とピン層の磁化方向をそろえた後(a)、磁界を徐々に増加していき、フリー層だけ反転して(b)でMR比が最大になり、更にピン層も反転してMR比が低下する過程(c)で、MR比が(b)の状態の半分になったときの印可磁界をHpとする。

【0101】

【表1】

No.	t	MR比(%)	Hp (kA/m)	ヘッド出力
A1-1	0	5.8	100	1
A1-2	0.2	4.8	80	0.9
A1-3	0.4	9.6	110	1.7
A1-4	1	10.3	120	2.4
A1-5	2	11.1	99	2.5
A1-6	5	9.5	86	1.9
A1-7	10	8.8	73	1.8
A1-8	20	7.5	75	1.7
A1-9	50	6.6	70	1.5
A2	-	15.1	50	3.5

【0102】A1-1は Al_2O_3 が無い場合、つまり従

来例で、本発明の実施例A1-3～A1-9はA1-1

(010)00-276710 (P2000-276710A)

に比べてMR比が増加していることが分かる。これは界面S1での鏡面反射効果によると考えられる。ただし、A1-2のように Al_2O_3 層があまり薄いと効果が無い。0.4nm以上は必要である。逆に Al_2O_3 層が厚すぎるとMR比が低下する。これは Al_2O_3 が厚すぎると表面性が悪くなり、かえって鏡面反射効果が低下するためと考えられる。この観点から Al_2O_3 層の膜厚は20nm以下、より望ましくは2nm以下とするのがよい。

【0103】次に、第2の強磁性層5と反強磁性体層7での電子の鏡面反射効果を高めるため、反強磁性体7として $\alpha-Fe_2O_3$ 膜を用いた、以下の構成のMR素子を作製した。この試料についてA1と同様に測定した結果を表1にあわせて示す。

【0104】A2: Ta(5)/ Al_2O_3 (1)/ $Ni_{0.80}Fe_{0.20}$ (5)/Co(1)/Cu(2.2)/Co(2)/ $\alpha-Fe_2O_3$ (30)

表1に示すように、反強磁性体として、 $\alpha-Fe_2O_3$ 膜を用いると、同じ構成でPt-Mn膜を用いた場合A1-4に比べてMR比が大幅に増加する。しかし、Hpが低下し、磁気抵抗効果素子としての安定性が低下する。

【0105】また、 $\alpha-Fe_2O_3$ 膜の組成について調べるために、Si基板上に直接 $\alpha-Fe_2O_3$ 膜を約100nmの厚みで形成してEPMAで分析したところ、Fe/O=1/1.42であった。

【0106】スパッタ圧力等の作製条件を変化させると、この組成は多少変化した。

Fe/O=1/1.35~1/1.6

の範囲であればMR比を増大させる効果があった。従ってこの組成範囲では本発明は有効である。

【0107】次に本発明A1-3~A1-9および比較例A1-1、A2の膜をMR素子109として用いて、図3に示すようなMRヘッドを構成して、特性を評価した。この場合、基板としては Al_2O_3 -TiC基板を用い、シールド10、15の材料には $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ 合金を用い、シールドギャップ11、14には Al_2O_3 を用いた。

【0108】またハードバイアス部12にはCo-Pt合金を用い、リード部13をAuで構成した。また、フリー層(第1の強磁性層3)の磁化容易軸の方向が検知すべき信号磁界方向と垂直になるように、ピン層(第2の強磁性層5)の磁化容易軸の方向が検知すべき信号磁界方向と平行になるように磁性膜に異方性を付与した。この方法では、磁性膜を成膜する際、膜面内で異方性を付与したい方向に、永久磁石で磁界を付与して成膜した上に、熱処理も磁界を印可しながら行った。

【0109】これらのヘッドに約4kA/m(500e)の交流信号磁界を印加して両ヘッドの出力を評価した結果を表1に示す。この場合A1-1の出力を1とし

て相対値で示す。本発明の実施例は従来例A1-1に比べて高出力であった。

【0110】(実施例2)図1(b)の構成のMR素子100Bを、実施例1と同様の方法で作製した。この場合、基板1としてSi基板を用い、反強磁性体としてPt-MnまたはNiO膜を用いた。以下にその構成を示す。

【0111】B1: Ta(5)/ $Pt_{0.4}Mn_{0.6}$ (15)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (2)/Cu(2)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (1)/ $Ni_{0.8}Fe_{0.20}$ (6)/ Al_2O_3 (2)/Ta(5)

B2: Ta(5)/ $Pt_{0.4}Mn_{0.6}$ (15)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (2)/Cu(2)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (1)/ $Ni_{0.8}Fe_{0.20}$ (6)/Ta(5)

B3: Ta(5)/NiO(15)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (2)/Cu(2)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (1)/ $Ni_{0.8}Fe_{0.20}$ (6)/ Al_2O_3 (2)/Ta(5)

実施例1と同様に熱処理した後、実施例1と同じ方法で評価したところ以下の結果を得た。ただし、B3だけは熱処理せずに評価した。

【0112】

【表2】

No.	MR比(%)	Hp (kA/m)
91	10.6	95
92	5.5	93
93	15.7	35
94	12.2	150

【0113】本発明の実施例B1は、比較例B2に比べて第1の強磁性層3($Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (1)/ $Ni_{0.8}Fe_{0.20}$ (6))の上に更に非磁性高抵抗層8(Al_2O_3 (2))が保護層Taの前に形成されているので、非磁性高抵抗層8と第1の強磁性層3の界面S1で電子が鏡面反射される確率が高く、MR比が高い。また、反強磁性体層7としてNiO膜を用いると(実施例B3)、反強磁性層が金属である場合よりもMR比が高い。

【0114】次に実施例B3と全く同様の方法で、図1(b)の第2の強磁性層5として間接結合膜を用いた以下の構成のMR素子を作成した。ただしこの場合、熱処理する際は400kA/m(5kOe)の磁界を印可しながら行った。

【0115】B4: Ta(5)/NiO(15)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (3)/Ru(0.7)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (2)/Cu(2)/ $Co_{0.90}Fe_{0.10}$ (1)/ $Ni_{0.8}Fe_{0.20}$ (6)/ Al_2O_3 (2)/Ta(5)

上記MR素子の磁気抵抗変化を実施例1と同様の方法で評価した。その結果は表2に示す。表2に示したように、本発明の実施例B4は、間接交換結合膜を用いないB3に比べて、MR比は低下するが大きなバイアス磁界

(図1) 00-276710 (P2000-276710A)

Hpを有しており、ピン層の磁界方向がより安定しておりMR素子として安定した動作が期待できる。

【0116】なお、以上は、間接交換結合膜に用いる磁性層としてCo-Fe合金を用いた場合について述べたが、Co、Co-Ni-Fe合金もCoの代わりに用いることができる。またこのときの磁性層の膜厚は、1nm以上4nm以下とするのがよい。また2つの磁性層の膜厚は例に示すように少なくとも0.5nm以上異なっているのがよい。

【0117】これは、間接結合膜の役割としては、単にバイアス磁界を大きくするためでなく、フリー層にかかる種類の磁界、すなわち、ピン層よりのバイアス磁界、測定電流による磁界等をキャンセルする役割もあるからである。間接交換結合膜に用いる非磁性層としては、B4ではRuを用いたが、Irを用いることもできる。非磁性層の膜厚としては0.3nm以上1.2nm以下とするのがよい。

【0118】(実施例3) 図2(a)のタイプのMR素子200Aの実施例C1を、実施例1と全く同様の方法で作製した。この時基板としては、Si(100)基板を用い、高抵抗層8aとして α -Fe₂O₃膜を用い、金属反射膜層9としてAu膜を用いた。また比較のために、高抵抗層8aまたは金属反射膜層9を用いない実施例C2、C3膜も、その他は実施例C1と全く同様に作製した。以下にその構成を示す。

【0119】C1: Ta(3)/ α -Fe₂O₃(1.5)/Au(1)/Ni_{0.68}Fe_{0.20}Co_{0.12}(5)/Co(1)/Cu(2.5)/Co(3)/Ir_{0.2}Mn_{0.8}(8)/Ta(3)
C2: Ta(3)/ α -Fe₂O₃(1.5)/Ni_{0.68}Fe_{0.20}Co_{0.12}(5)/Co(1)/Cu(2.5)/Co(3)/Ir_{0.2}Mn_{0.8}(8)/Ta(3)
C3: Ta(3)/Au(1)/Ni_{0.68}Fe_{0.20}Co_{0.12}(5)/Co(1)/Cu(2.5)/Co(3)/Ir_{0.2}Mn_{0.8}(8)/Ta(3)

この膜を作製後、室温で実施例1と同様にMR比を測定した。その結果を表3に示す。

【0120】

【表3】

No.	MR比(%)	Hp(kA/m)
C1	12.2	68
C2	10.6	71
C3	5.6	99
C4	10.1	130

【0121】表3から明らかなように本発明の実施例C1は、従来例C3と比べてMR比が高い。これは、図2(a)の構成で金属反射膜層9を用いる場合、下地層2(高抵抗層8aを含む)を適当に選ぶことが重要なことを意味している。また、C2の場合には、表3には表れ

ていないが、フリー層3と金属反射膜層9が磁気的に結合してしまい、フリー層の軟磁気特性が失われてしまうので、磁界感度が大幅に低下し、実用には適さない。また、C1がC2に比べてMR比が高いのは金属反射膜Au層の効果で鏡面反射率が高まっているためと考えられる。

【0122】次に実施例C1と全く同様の方法で、図2(a)の第2の強磁性層5として間接結合膜を用いた以下の構成のMR素子を作成した。

【0123】C4: Ta(3)/ α -Fe₂O₃(1.5)/Au(1)/Ni_{0.68}Fe_{0.20}Co_{0.12}(5)/Co(1)/Cu(2.5)/Co(2)/Ru(0.8)/Co(3)/Ir_{0.2}Mn_{0.8}(8)/Ta(3)
上記MR素子の磁気抵抗変化を実施例C1と同様の方法で評価した。その結果は表2に示す。表2に示したように、本発明の実施例C4は、間接交換結合膜を用いないC1に比べて、MR比は低下するが大きなバイアス磁界Hpを有しており、ピン層の磁界方向がより安定しておりMR素子として安定した動作が期待できる。

【0124】なお、以上は、間接交換結合膜に用いる磁性層としてCoを用いた場合について述べたが、Co-Fe合金、Co-Ni-Fe合金もCoの代わりに用いることができる。またこのときの磁性層の膜厚は、1nm以上4nm以下とするのがよい。また2つの磁性層の膜厚は例に示すように少なくとも0.5nm以上異なっているのがよい。

【0125】これは、間接結合膜の役割としては、単にバイアス磁界を大きくするためでなく、フリー層にかかる種類の磁界、すなわち、ピン層よりのバイアス磁界、測定電流による磁界等をキャンセルする役割もあるからである。間接交換結合膜に用いる非磁性層としては、C4ではRuを用いたが、Irを用いることもできる。非磁性層の膜厚としては0.3nm以上1.2nm以下とするのがよい。

【0126】(実施例4) 実施例1と同様の方法で、図2(b)に示すタイプのMR素子200Bを作製した。この時基板としてはガラス基板を用いて、高抵抗層8aとしてはAlN膜を、金属反射膜9としてはAg膜を用いた。また、比較例として高抵抗層8aおよび金属反射膜9のないD2-D4膜を作製した。

【0127】D1: NiO(50)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(2)/Cu(3)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2)/Ag(0.8)/AlN(1)/Ta(5)

D2: NiO(50)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(2)/Cu(3)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2)/AlN(1)/Ta(5)

D3: NiO(50)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(2)/Cu(3)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2)/Au(0.8)/Ta(5)

D4: NiO(50)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(2)/Cu

(巻2)00-276710(P2000-276710A)

(3)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2)/Ta(5)
 D5: NiO(50)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(2)/Cu
 (3)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2)/Cu(0.8)/Ag
 (0.8)/AlN(1)/Ta(5)

これらの膜を作製後、室温で実施例1と同様にしてMR比を測定した。その結果を表4に示す。

【0128】

【表4】

No.	MR比(%)	I _{lp} (kA/m)
D1	15.5	53
D2	12.1	50
D3	7.7	49
D4	5.6	55
D5	18.3	53
D6	19.1	49

【0129】表4から明らかなように本発明の実施例D1は、比較例D3、D4と比べてMR比は格段に大きくになっていることは明らかである。また、D2は本発明の1実施例であるが、金属反射膜9を用いたD1の方がよりMR比が大きくなっている。これは、D1の方が高抵抗層8aの界面S2でより有効に電子を鏡面反射しているためと考えられる。

【0130】実施例D5でCu(1)の層は、フリー層の軟磁気特性を改善するとともに、鏡面反射膜の効果を更に増幅させる効果がある。

【0131】また、以上は反強磁性体7としてNiO膜を用い、高抵抗層8aとしてAlNを用いた場合について説明したが、反強磁性体7として、Al₂O₃、高抵抗層8aとしてAl₂O₃を用いても優れた磁気抵抗効果素子を形成できる。その例としては、

D6: α-Fe₂O₃(50)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(2)/Cu(3)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2)/Cu(0.8)/Ag(0.8)/Al₂O₃(1)/Ta(5)
 を作成して、D5と同様にして評価したところ、表4に示すように、大きなMR比を示した。

【0132】(実施例5) まず、Si基板を様々な条件でイオンビームを用いて表面処理し、表面粗さを変化させた。この様にして処理したSi基板上に実施例1と全く同様の方法で、図2(a)のタイプの以下に示すMR素子200Aを作製した。この場合、高抵抗層8aとして、Al₂O₃を用い、金属反射膜9としてAg、反強磁性体7としてはIr_{0.2}Mn_{0.8}膜を用いた。

E1: Ta(3)/Al₂O₃(1)/Ag(1)/Ni_{0.8}Fe_{0.2}(3)/Co(1)/Cu(2)/Co(2)/Ir_{0.2}Mn_{0.8}(10)

作成した試料の表面粗さとMR比を表5に示す。この場合の表面粗さは、STM(Scanning Tunneling microscope)を用いて評価した。10mm角の試料の表面上で、無作為に10nm×10nmのエリアを10カ所選び、各エリアで最も高

い点と低い点の差をそのエリアの表面粗さとし、それを10カ所で平均してその試料の表面粗さとした。

【0133】

【表5】

No.	表面粗さ(nm)	MR比(%)
E1-1	0.23	15.5
E1-2	0.41	13.8
E1-3	0.62	7.7
E1-4	1.1	5.5

【0134】表5の結果から、表面粗さが0.5nm以下のものは大きなMR比を示すことが分かる。表面の粗さは層界面の粗さと関連しており、表面粗さが粗いものは、電子が散乱される層界面も粗いと考えられ、そのため電子の鏡面反射率が低下し、MR比が低下するものと考えられる。

【0135】

【発明の効果】以上示したように、本発明は、薄い高抵抗層を用いることにより、電子の鏡面反射効果を利用しているため、大きなMR比を示す磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果型ヘッドおよびこれを用いたハードディスク装置の提供を可能とするものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気抵抗効果素子の断面の模式図。

【図2】本発明の別の磁気抵抗効果素子の断面の模式図。

【図3】本発明のMRヘッドの一断面図。

【図4】本発明のMRヘッドの立体図。

【図5】本発明のMRヘッドと磁気ディスクの一断面図。

【図6】本発明の記録ヘッド一体型MRヘッドの一断面図。

【図7】本発明の別のMRヘッドの一断面図。

【図8】本発明の磁気抵抗効果素子の磁気抵抗曲線の一例。

【図9】本発明のハードディスク装置の側面図。

【図10】本発明のハードディスク装置の平面図。

【図11】従来の別の磁気抵抗効果素子の断面の模式図。

【図12】従来の別の磁気抵抗効果素子の断面の模式図。

【図13】従来の磁気抵抗効果素子の断面の模式図。

【符号の説明】

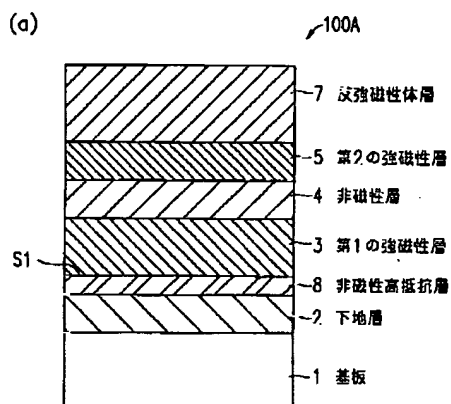
- 1 基板
- 2 下地層
- 3 第1の強磁性層(フリー層)
- 4 非磁性層
- 5 第2の強磁性層
- 7 反強磁性体層
- 8 非磁性高抵抗層

(図3) 100-276710 (P2000-276710A)

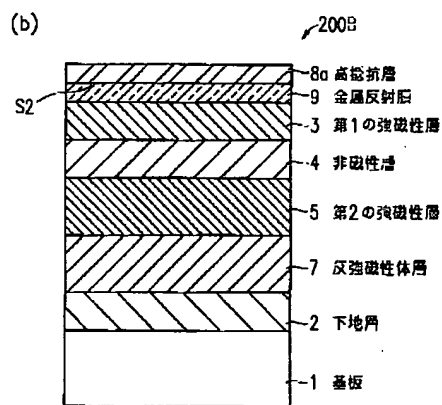
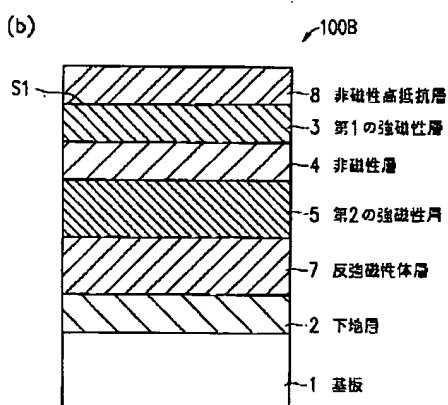
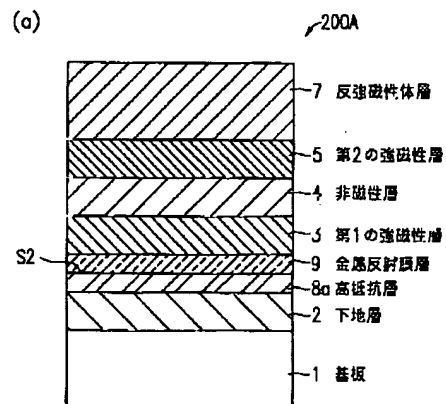
- 8a 高抵抗層
- 9 金属反射膜層
- 10 シールド
- 11 シールドギャップ
- 12 ハードバイアス部
- 13 リード部

- 14 シールドギャップ
- 15 上部シールド
- 16 上部記録コア
- 40 記録ギャップ部
- 109 MR素子部

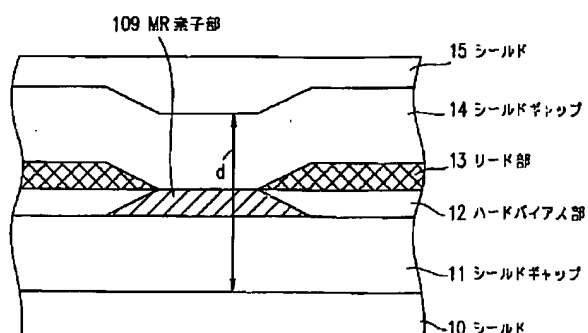
【図1】



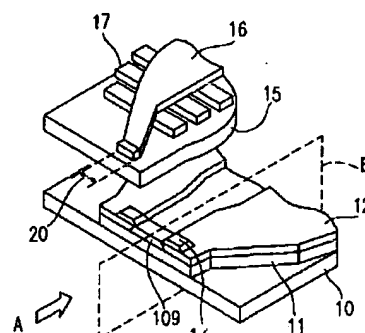
【図2】



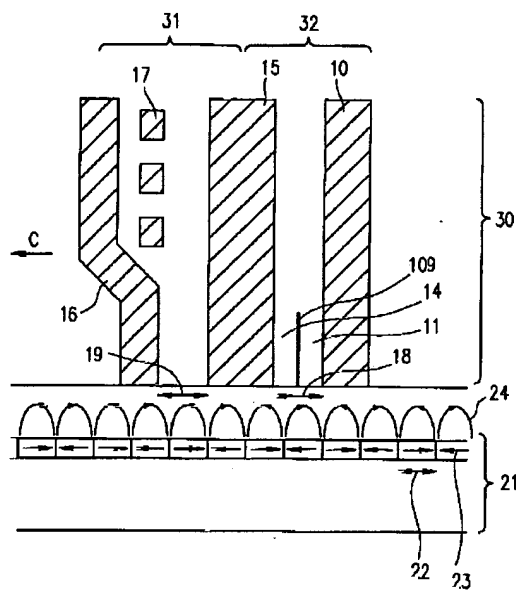
【図3】



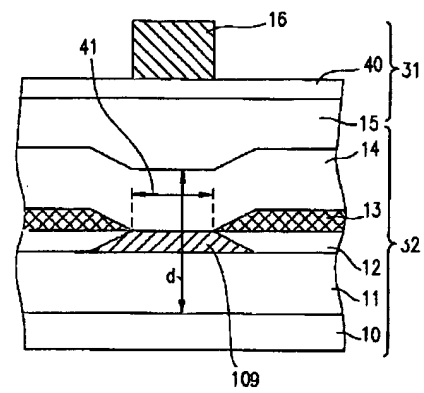
【図4】



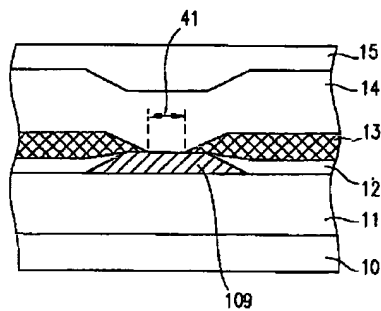
【図5】



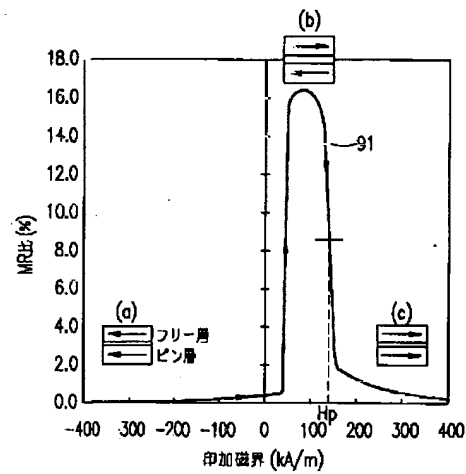
【図6】



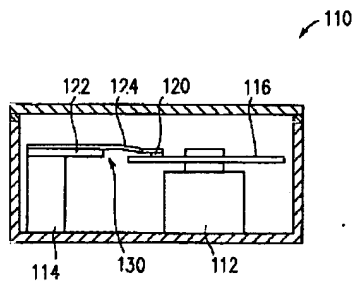
【図7】



【図8】

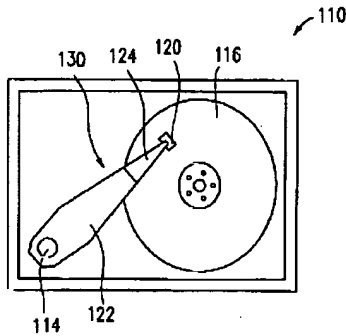


【図9】

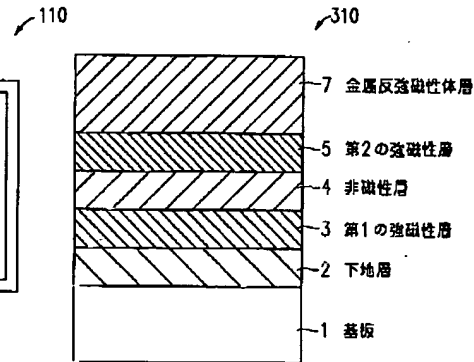


(特5) 100-276710 (P2000-276710A)

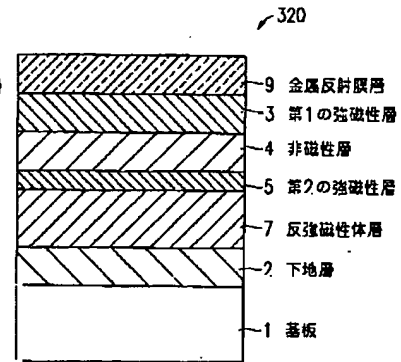
【図10】



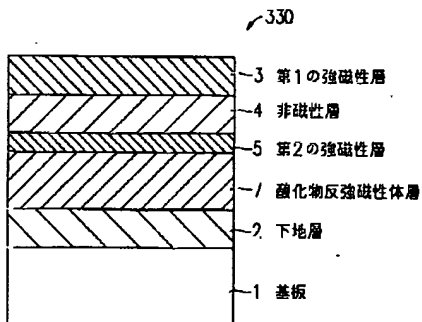
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 里見 三男
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 榊間 博
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

Fターム(参考) 5D034 BA03 BA15 BA16 BA17 BA18
BB01